

УДК 504.53.06:631.6.02

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СОРБЦИОННОГО МЕТОДА ОЧИСТКИ ДРЕНАЖНОГО СТОКА МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

Е.Э. Головинов, Е.Б. Стрельбицкая, А.П. Соломина

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова», г. Москва, Россия

Аннотация. Технологии и способы направленного регулирования качественного состава дренажного стока в составе гидромелиоративных систем Нечерноземной зоны России могут быть различными в зависимости от объема и химического состава стока и экологических требований к качеству воды для повторного использования и безопасного водоотведения. Одним из наиболее перспективных способов улучшения качества дренажных вод является сорбционная очистка стока, эффективность применения которой определяется конструкцией сорбционно-фильтрующего узла, подбором сорбционного материала для фильтра исходя из расхода дренажного стока и степени его загрязнённости. Представлены компоновка, размещение и конструктивные особенности сорбционно-фильтрующих узлов очистки, приведены показатели эффективности применения ряда сорбентов для очистки дренажного стока, основные удаляемые загрязнения и степень очистки. Предложено инженерное решение, способствующее увеличению эффективности работы сорбционно-фильтрующих сооружений за счет регулирования равномерности взаимодействия дренажной воды со всей массой сорбционно-фильтрующей загрузки благодаря выравниванию динамического напора потока дренажной воды на фильтрующий материал.

Ключевые слова: очистка дренажного стока, сорбционный метод очистки, сорбенты, конструкции сорбционно-фильтрующих узлов очистки.

Annotation. Technologies and methods of directed regulation of the quality composition of drainage runoff in the hydro-reclamation systems of the Non-Chernozem zone of Russia may be different depending on the volume and chemical composition of the runoff and environmental requirements for water quality for reuse and safe disposal. One of the most promising ways to improve the quality of drainage water is sorption treatment of runoff, the effectiveness of which is determined by the design of the sorption-filter unit, the selection of sorption material for the filter based on the flow rate of drainage runoff and the degree of its contamination. The layout, placement and design features of sorption-filter cleaning units are presented, the efficiency indicators of the use of a number of sorbents for cleaning drainage runoff, the main impurities removed and the degree of purification are given. An engineering solution is proposed to increase the efficiency of sorption-filtering facilities by regulating the uniformity of the interaction of drainage water with the entire mass of the sorption-filtering load by equalizing the dynamic pressure of the drainage water flow on the filter material.

Keywords: drainage runoff purification, sorption purification method, sorbents, designs of sorption-filtering purification units.

Введение. Ужесточение в последние годы нормативных экологических требований к качеству сточных вод и запрету сброса в водные объекты неочищенных или недостаточно очищенных стоков определяет качество дренажно-сбросных вод (ДСВ) одной из экологических проблем при

функционировании гидромелиоративных систем Нечерноземной зоны России. В большинстве случаев качественный состав дренажного стока не соответствует действующим нормативам для основных видов водопользования как при сбросе стока с мелиорируемой территории в водные объекты, так и при его внутрисистемном повторном использовании для увлажнения сельскохозяйственных культур. В определенные периоды концентрации ряда химических веществ в дренажном стоке превышают допустимые значения в десятки раз. Так, превышения нормативных значений концентраций аммонийного азота в ДСВ осушительно-увлажнительной системы на пойме реки Яхромы в Московской области составляли в среднем 2 - 4 раза (до 10 - 21 раз), а по содержанию органического вещества (по значениям перманганатной и бихроматной окисляемости) – 2 - 3 раза, в летние периоды – более 5 раз [1]. Выполненная вероятностная оценка выноса биогенных веществ с мелиорируемых земель в водные объекты бассейна Верхней Волги показала, что их годовой вынос дренажным стоком составляет 8,08 тыс. т. или 65% от общего загрязнения [2]. Сброс недостаточно очищенных дренажных вод является причиной антропогенного загрязнения и эвтрофирования водных объектов, являющихся их водоприемниками, накопления в донных отложениях загрязняющих веществ и деградации водных экосистем. Поэтому регулирование качественного состава дренажного стока является неотъемлемой частью природоохранной деятельности как в отношении предупреждения загрязнения водных объектов, так и мелиорируемых земель, предусматривающей создание в составе гидромелиоративных систем технологических узлов, производящих очистку стока от загрязняющих компонентов до нормативно допустимого уровня в соответствии с экологическими требованиями и ограничениями [3].

В связи с обострением экологической ситуации и введением законодательных нормативных документов, устанавливающих требования к качеству вод, сбрасываемых в водные экосистемы и используемых для полива сельскохозяйственных культур, регулирование качества дренажного стока и конструктивное исполнение узлов очистки следует назначать на основе данных, характеризующих современное или прогнозируемое состояние ДСВ во взаимосвязи с типом, параметрами и режимом работы мелиоративной системы и учетом особенностей формирования стока, условий его отведения или использования. Выбор схемы очистки и конструкции очистных сооружений определяется качественной и количественной характеристиками дренажного стока, фазово-дисперсным состоянием примесей, требуемой степенью очистки и принятой схемой отведения. Он должен осуществляться на основании оценки технической возможности реализации того или иного варианта, при выборе наиболее рационального варианта из которых следует учитывать такие факторы народнохозяйственного значения как использование дефицитных и местных материалов, трудоемкость эксплуатации и перспективы использования. Одним из наиболее эффективных способов улучшения качественного состава дренажных и сбросных вод является сорбционная очистка стока, обеспечивающая концентрирование загрязнений на поверхности и в объеме пор природных или искусственных сорбентов, используемых в конструкциях узлов очистки гидромелиоративных систем.

Материалы и методы. Для выявления тенденций развития и совершенствования сорбционного метода очистки стока от загрязняющих компонентов использовались информационно-аналитические методы исследования, включающие комплексный анализ, обобщение и структуризацию теоретической, нормативно-правовой, методической и научно-технической информации по фондовым материалам ЦНСХБ и ФИПС с привлечением Интернет-ресурсов. Кроме

того, учитывались практические результаты исследований ВНИИГиМ и других научных институтов в области регулирования содержания загрязняющих веществ в дренажном стоке в процессе производства сельскохозяйственной продукции и водоотведения.

Основным компонентом методической базы настоящей статьи явился принцип направленного регулирования гидрохимического состава и свойств дренажных вод с помощью корректирующих мер и технических средств по снижению содержания в стоке загрязняющих компонентов с целью безопасного водоотведения и внутрисистемного использования.

Результаты и обсуждение. Технологии и способы направленного регулирования качественного состава дренажного стока в целях его подготовки для повторного использования при увлажнении сельскохозяйственных культур и безопасного водоотведения в водные объекты, компоновка и размещение технологических узлов очистки в составе гидромелиоративных систем могут быть различными и зависят от объема и химического состава дренажного стока, а также требований, предъявляемых к качеству воды для повторного использования и безопасного водоотведения. Для условий Нечерноземной зоны России предпочтительными мерами улучшения качества дренажных вод для целей увлажнения сельскохозяйственных культур и сброса в природные водоемы и реки следует считать аэрацию, сорбционный и биологический способы очистки [4]. Регулирование качеством дренажных и поверхностных вод, используемых повторно на увлажнение и сбрасываемых в водоприемники, должно базироваться на положении, что ограничение поступления загрязняющих веществ с поливной и сбросной водой возможно на основе применения современных высокоэффективных технологий и оборудования для очистки стока, рациональной компоновки отдельных конструктивных элементов очистных сооружений с возможностью их совершенствования и модернизации, автоматизированного управления, способствующих повышению эффективности очистки.

Главными преимуществами сорбционного метода, используемого в очистных сооружениях в составе гидромелиоративных систем, являются: очистка воды от загрязнений практически до любой остаточной концентрации независимо от их химической устойчивости; удаление загрязнений чрезвычайно широкой природы, в том числе солей тяжелых металлов и фенолов; отсутствие вторичных загрязнений; управляемость процессом очистки. Сорбционные фильтры просты в эксплуатации, не требуют технически сложного оборудования для обслуживания, наряду с этим обладают высокой степенью очистки. Технологические требования к данному способу диктуют необходимость предварительной механической очистки стока с целью удаления грубодисперсных примесей, способствующих засорению сорбционного материала и сокращению его сорбционной емкости, а также увеличению количества регенераций. Содержание взвешенных веществ, поступающих на сорбционные фильтры, не должно превышать 2 мг/дм^3 .

Регулирование качественным составом дренажного стока следует производить подбором сорбционного материала для фильтра, применением определенной конструкции сорбционно-фильтрующего узла исходя из расхода стока, степени его загрязненности, вида и характеристик сорбента [6].

Сорбционно-фильтрующие узлы рекомендуется размещать непосредственно в дрене или коллекторе дренажного стока, в концевой части открытого дренажного канала или в накопителе стока перед отбором воды для полива или сбросом в природный водоем и водоток, а также создавать фильтрационные площадки. Для внутрисистемного регулирования качества дренажного стока целесообразно комплексирование сорбционно-фильтрующих узлов с аэрацией и биологическими

методами, обеспечивающими доочистку от биогенов непосредственно в открытом коллекторе либо на специально созданных биоплато [7].

В качестве фильтрующей загрузки сорбционных фильтров следует применять натуральные и искусственные материалы: активированный уголь, природный цеолит, рисовые отруби или шелуху, гречневую лузгу, торф, сапрпель, глауконитовый песок и шлаки, глину, аргиллит, гидроксиды алюминия и железа, волокнистый геотекстиль, полимерные ионообменные смолы и другие микропористые материалы. Большие запасы местных природных сорбирующих материалов, их хорошие физико-химические характеристики и дешевизна, возможность утилизации делают экономически целесообразным их применение в процессах очистки дренажно-сбросных вод. Использование местного природного сырья в сорбционно-фильтрующих сооружениях обеспечивается упрощение способа очистки дренажного стока. Показатели эффективности применения некоторых сорбентов в составе сорбционно-фильтрующих узлов для очистки дренажного стока, основные удаляемые загрязнения и степень очистки приведены в таблице [5, 7].

Таблица – Показатели эффективности применения сорбентов для очистки дренажно-сбросных вод от загрязняющих компонентов [5, 7]

Загрязняющие вещества	Сорбент, степень очистки, % /				
	Бентонитовая глина	Глауконитовый песок	Золошлак	Сапрпель	СОРБЭКС
Пестициды:					100
Метафос	48,5	37,4	35,6		
Сатурн	15,8	19,5	17,1		
Атразин	31,0	42,9	39,4		
2,4-Д / 2,4-Д	19,6	14,4	13,5		
Эптам	69,1	71,9	67,3		
Катионы:					
Никель	100	100	100	98,0	77,0
Серебро	96,4	100	97,5	-	-
Медь	77,3	88,2	59,1	98,0	98,0
Железо	87,2	49,1	67,3	86,0	72,0
Марганец	82,8	84,8	96,1	-	-
Свинец	100	100	100	98,0	98,0
Кобальт	-	-	-	96,0	91,0

Очистка от определенных групп загрязняющих веществ может реализовываться в зависимости от подбираемого соотношения сорбентов. При сорбции с помощью трёхфракционной системы модифицированного глауконитового песка (15 % фракции < 0,25 мм, 60 % – 0,25-1,0 мм, 25 % – 1,1-1,5 мм) эффект очистки дренажных вод (%) составил: от ионов меди – 98,33, железа – 99,83, цинка – 97,2, магния – 58,54, ионов натрия – 27,45 [8, 9]. А эффективность очистки с помощью сорбента из гречневой лузги, модифицированной в растворе гидроксида натрия, составил для таких компонентов как Cu^{+2} , Cr^{+3} , Zn^{+2} , Ni^{+2} , Pb^{+2} от 97,1 до 99,8 % [патент РФ № 2579129, 2016 г.]. При использовании сорбционного блока, включающего три сорбционных слоя (С-ВЕРАД, цеолит, кварц в равном соотношении), помещенных в сетку фильтрующей кассеты, эффект очистки по тяжелым металлам, органическим веществам и солям достигает 85-90% [патент РФ № 2654763, 2018 г.]. Такая же степень очистки обеспечивается в фильтрующем

колодце, содержащем фильтрующие элементы на основе отходов угольного производства в форме цилиндра с полостью внутри, которую заполняют сорбентом на основе рисовой шелухи [патент РФ № 2551504, 2015 г.]. При невысокой минерализации дренажных вод рекомендуется использовать природные или модифицированные сорбенты, как правило, с большим содержанием кальция, создающие условия не только для очистки дренажного стока, но и для улучшения соотношения ионов кальция и натрия в воде [10].

В качестве сорбционного материала для сорбционно-фильтрующих сооружений разных конструкций рекомендуется также использовать:

- сапропели, с помощью которых эффективно достигается улучшение качественных характеристик воды (снижается жесткость воды, удаляются запахи, обеззараживается) [патент РФ № 2 575 884, 2016 г.];

- фильтрующий материал из катионообменной смолы и активированного угля в пакете из нетканого материала с поверхностной плотностью от 20 до 60 г/м² [патент РФ № 2 630 534, 2017 г.];

- гидрофильный защитный слой из войлока с активированным углем [патент США № 20190144300, 2019 г.];

- гранулированный материал из агломератов частиц активированного угля, позволяющий снижать содержание загрязнителей без использования коагулянтов или флокулянтов и не приводит к образованию шлама [патент РФ № 2 688 541(FR), 2019 г.];

- доменный гранулированный шлак с размерами зерен 2,5 – 5,0 мм, обработанный 10% раствором кремнезоля, толщиной слоя сорбента 0,04-0,05 м и скоростью фильтрации через него 7 м/ч [патент РФ № 2 716 445, 2020 г.];

- материал, состоящий из трех слоев диоксида кремния, гранулированного активированного угля и сорбента. Сорбент включает материал на основе бактериальной целлюлозы, модифицированной нанослоем оксида алюминия в составе фильтрующей конструкции [патент РФ № 2 711 741, 2020 г.].

Применение в составе сорбционных фильтров кальций- и железосодержащих (гумат железа) материалов, реагента на основе гидрата силиката кальция или ионообменных смол [патенты США № 6712969, 2004 г.; Японии № 3569086, 2004 г.; Великобритании № 2366792, 2002 г. и др.] способствует снижению концентрации фосфорных и азотных соединений в дренажной воде. Для снижения содержания органических соединений и фитопланктонных водорослей насадку фильтрующих элементов можно дополнять прикрепленными микроорганизмами, пылевидными активированными углями или ионообменными волокнами [патент РФ № 2200135, 2003 г.]. Наряду с принципиально новыми подходами и перспективными технологиями для очистки стока следует использовать новые комбинации существующих и активно применяемых технологических подходов.

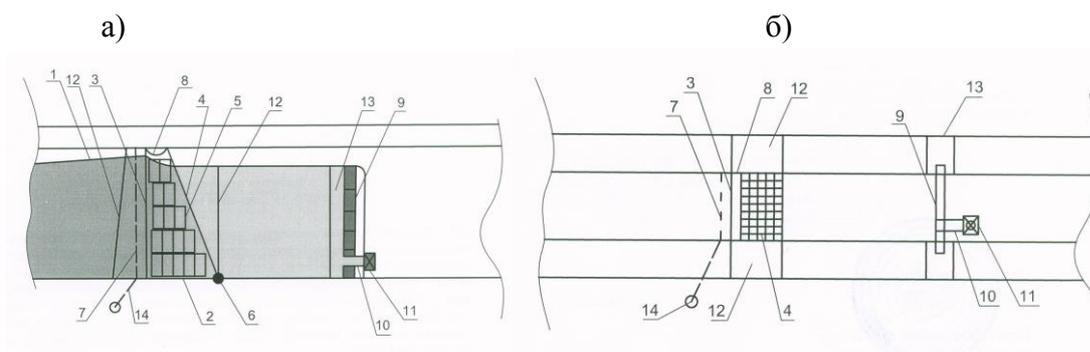
В корпусных, каркасных, кассетных конструкциях локальных фильтров в настоящее время находят широкое применение волокнистые полимерные сорбционно-фильтрующие тканые и нетканые материалы благодаря их уникальным фильтрующим и сорбционным свойствам. В этих фильтрах проблема удержания фильтрующего материала от всплытия в процессе фильтрования или регенерации решается с помощью рам, каркасов и других известных средств ввиду небольшой рабочей поверхности материала.

Конструкции и технологические схемы сорбционно-фильтрующих узлов очистки дренажных вод в составе гидромелиоративных систем могут быть различны. Так, использование в качестве сорбента гранулированного сапропеля, обработанного известью и сорбентмелиоранта СОРБЭКС, представляющего собой композицию из сапропеля, цеолита и сульфата алюминия (соответственно 65, 25 и

10%), рекомендуется в составе съёмного фильтрующего патрона, устанавливаемого непосредственно в дренае [патент РФ № 2091538, 1997 г.], а также локальных сооружений, выполненных в виде фильтрующих колодца, траншеи или дамбы. Для достижения требуемой степени очистки необходимо учитывать ограничения по скорости фильтрации, лабораторными экспериментами установлено, что скорость фильтрации через сорбент должна быть не более 40 м/сут.

Количество съёмных фильтрующих элементов и последовательность их установки определяют согласно виду и характеристикам сорбента, расходу дренажного стока и степени его загрязнённости. Например, в составе узла очистки с фильтрующей загрузкой из глауконитового песка, включающей 3 фракции, рекомендуется размещать для достижения требуемой степени очистки не менее десяти секций (0,70 x 0,55 x 0,10 м) [8]. А в фильтрующей траншее необходимо размещать 2-3 последовательно расположенных фильтрующих пакета с использованием сорбентмелиоранта СОРБЕКС для площади 250 га [7]. Для эффективной очистки дренажного стока на трассе открытого дренажного канала рекомендуется чередовать размещение последовательно установленных отстойников и сорбционных фильтров в виде колодцев со съёмными сетчатыми емкостями с сорбентом, либо устанавливать на расстоянии 50 м друг от друга фильтрующие кассеты из жесткого металлического каркаса с закрепленной на них сеткой, заполненной высушенными растениями (тростник, камыш) [патент РФ № 2505486, 2014 г.]. В фильтрующей матрице в виде жесткого металлического каркаса с тремя съёмными кассетами, сорбенты предлагается располагать в следующей последовательности по пути прохождения дренажного стока: ракушечник – 50%, глауконитовый песок – 30%, керамзит – 20% [патент РФ № 2401804, 2010 г.].

С целью повышения эффективности работы сорбционно-фильтрующих узлов очистки в составе гидромелиоративных систем Нечерноземной зоны РФ сотрудниками ВНИИГиМ предложено конструктивное решение системы сооружений для очистки дренажного стока перед его использованием для орошения или отведением в водоприемник. Компоновка конструктивных элементов и управление заданным режимом фильтрации дренажной воды через устройство позволяет создать условия для равномерного использования всей массы сорбционно-фильтрующей загрузки за счет выравнивания динамического напора потока дренажной воды на фильтрующий материал [11]. Система сооружений (рис.) состоит из закрепленного в русле сбросного канала кассетоудерживающего устройства, включающего набор кассет с фильтрующим материалом, переднюю наклоненную и вертикальную заднюю решетчатые стенки. Ширина рядов кассет с фильтрующим материалом последовательно увеличивается от поверхности к дну канала, а передняя решетка установлена на оси с возможностью поворота в вертикальной плоскости, на ее наружной поверхности закреплен экран из гибкой полимерной сетки с размером ячеек 0,5-1,0 мм. За сооружением в нижнем бьефе устройства на расстоянии, не превышающем его высоту, размещена подпорная шандорная стенка, в нижней части которой установлен сбросной патрубок с запорным вентиляем со стороны нижнего бьефа и автоматизированным клапаном поддержания уровня воды со стороны верхнего бьефа.



1 – дренажный канал; 2 – кассетоудерживающее устройство; 3 – задняя вертикальная решетчатая стенка; 4 – передняя наклонная решетчатая стенка; 5 – кассеты с фильтрующим материалом; 6 – ось, позволяющая поворот решетчатой стенки в вертикальной плоскости; 7 – экран из гибкой полимерной сетки; 8 – лоток для сбора мусора с экрана; 9 – шандорная стенка; 10 – сбросной патрубков; 11 – запорный вентиль; 12 – автоматизированный клапан поддержания уровня воды; 13 – клапан; 14 – поплавковый привод.

Рисунок – Система сооружений для повышения эффективности очистки дренажного стока в разрезе (а) и в плане (б)

Установление заданного режима фильтрации дренажной воды через кассетоудерживающее устройство регулируется с помощью запорного вентиля на сбросном патрубке шандорной стенки и клапана. Равномерная работа всей массы сорбционно-фильтрующего материала обеспечивается увеличением ширины рядов кассет от верха к низу в сочетании с работой автоматизированного клапана, а экран из синтетической сетки позволяет задерживать и периодически удалять плавающий сор и водоросли, препятствуя кольматажу им верхних рядов кассет.

Для использования и совершенствования сорбционного метода при очистке дренажного стока в составе гидромелиоративных систем, обеспечения надёжной работы узлов очистки с наибольшим экологическим эффектом необходимым является выполнение следующих базовых технических требований:

- использование современных высокоэффективных технологий и оборудования при организации регулирования качественного состава дренажного стока с мелиорируемой территории, размещении и компоновке отдельных элементов очистных сооружений с возможностью их совершенствования;

- подбор многофункционального сорбционного материала для фильтра, использование возможности применения дешевых и доступных местных недефицитных материалов, определяющих снижение себестоимости очистных сооружений;

- изыскание простых и надежных в конструктивном и технологическом исполнении, но в то же время эффективных и рациональных схем очистки стока с необходимым и достаточным набором технологических стадий, обеспечивающих нужную степень очистки для достижения нормативных требований российских экологических стандартов по сбросу стока в водные объекты и внутрисистемному использованию на увлажнение;

- применение в составе очистных сооружений системы автоматического контроля и управления основными технологическими процессами, позволяющими исключить или минимизировать присутствие обслуживающего персонала, обеспечить стабильное и бесперебойное их функционирование.

Выводы. В технологических узлах по регулированию качественного состава дренажного стока гидромелиоративных систем используются различные методы очистки с учетом объема, гидрохимического состава стока и требований, предъявляемых к качеству воды для повторного использования и безопасного водоотведения. Одним из приоритетных и наиболее эффективным способом регулирования качественного состава дренажного стока для условий Нечерноземной зоны России является сорбционная очистка в сочетании с фильтрованием.

Применение в составе схем очистки сорбционного метода обеспечивает высокую степень очистки дренажных вод от загрязняющих компонентов: ионов тяжелых металлов от 87 до 100%, пестицидов – до 67-72%, органических веществ – до 90-95%. Сорбционные фильтры не требуют технически сложного оборудования для обслуживания и просты в эксплуатации. Регулирование качественного состава стока осуществляется подбором многофункционального сорбционного материала для фильтра, использованием определенной конструкции сорбционно-фильтрующего узла в соответствии с расходом дренажного стока, степенью его загрязнённости, видом и характеристиками сорбционно-фильтрующей загрузки.

Предложенное инженерно-конструктивное решение системы сооружений для очистки дренажного стока в составе гидромелиоративных систем, разработанная компоновка конструктивных элементов и управление заданным режимом фильтрации дренажной воды через устройство обеспечат повышение эффективности работы сорбционно-фильтрующих сооружений за счет обеспечения равномерного взаимодействия стока со всей массой загрузки путем выравнивания динамического напора потока дренажной воды на фильтрующий материал.

Совершенствование сорбционного метода при организации регулирования качественного состава дренажного стока с мелиорируемой территории должно быть направлено на изыскание наиболее эффективных и рациональных конструктивных и технологических приемов, режимов функционирования, размещения и компоновки отдельных элементов очистных сооружений. Универсальность технологических схем очистки по выделению широкого спектра загрязняющих компонентов, доступность и многофункциональность используемых сорбционных загрузок фильтров с возможностью применения местных недефицитных материалов обеспечат достаточную степень очистки дренажного стока гидромелиоративных систем в соответствии с нормативными требованиями российских экологических стандартов по сбросу стока в водные объекты и внутрисистемному использованию его на увлажнение сельскохозяйственных культур.

Библиографический список

1. Стрельбицкая Е.Б. Изменение экологического состояния малых рек под воздействием сбросных вод с осушаемых агроландшафтов и пути его улучшения / Е.Б. Стрельбицкая, Н.В. Коломийцев // Мелиорация и водное хозяйство. 2006. № 5. С. 38-43.

2. Кирейчева Л.В. Оценка количества и качества дренажных и поверхностных вод, поступающих в речную сеть бассейна реки Волги с осушительных систем Нечерноземной зоны РФ / Л.В. Кирейчева, Е.А. Лентяева / Мелиорация земель – неотъемлемая часть восстановления и развития АПК Нечерноземной зоны Российской Федерации. Материалы междунар. научно-практической конференции 24-25 октября 2018 г. М.: Изд. ВНИИГиМ, 2019. С. 205-212.

3. Navarro, I; Chavez, A; Barrios, JA; Maya, C; Becerril, E; Lucario, S; Jimenez, B; "Wastewater reuse for irrigation—practices, safe reuse and perspectives", *Irrigation and Drainage—Sustainable Strategies and Systems*, 35-54, 2015, In Tech Rijeka.
4. Стрельбицкая Е.Б. Основные принципы совершенствования узлов очистки стока в составе осушительно-увлажнительных систем Нечерноземной зоны / Е.Б. Стрельбицкая, А.П. Соломина // *Природообустройство*. 2019. № 5. С. 39-46.
5. Щедрин В. Н. Очистка дренажно-сбросных вод от вредных примесей / В. Н. Щедрин, А.С. Капустян // *Мелиорация и водное хозяйство*. 1998. № 6. С. 33-34.
6. Tamjidi, Sajad; Moghadas, Bahareh Kamyab; Esmaeili, Hossein; Khoo, Farideh Shakerian; Gholami, Gholamhossein; Ghasemi, Mansoure; Improving the surface properties of adsorbents by surfactants and their role in the removal of toxic metals from wastewater: A review study, *Process Safety and Environmental Protection*, 2021, Elsevier.
7. Купцова А.А. Улучшение качества дренажных вод природными сорбентами: автореф. дис. канд. техн. наук. М., 1998. 24 с.
8. Кропина Е. А. Перспективы повторного использования дренажно-сбросных вод для орошения / Е. А. Кропина, С. М. Васильев // *Мелиорация и водное хозяйство*. 2010. № 2. С. 22-23.
9. Lambert, Nico; Van Aken, Pieter; Van den Broeck, Rob; Dewil, Raf; Adsorption of phosphate on iron-coated sand granules as a robust end-of-pipe purification strategy in the horticulture sector, *Chemosphere*, 267, 2021, Elsevier.
10. Кирейчева Л. В. Основные направления снижения антропогенной нагрузки на водные объекты за счет уменьшения сброса дренажных вод с мелиорируемых территорий // *Природообустройство*. 2015. № 5. С. 64-68.
11. Губин В.К., Головинов Е.Э., Соломина А.П., Стрельбицкая Е.Б., Кудрявцева Л.В. Система сооружений для очистки дренажного стока. Патент России № 2728365. 2020. Бюл. № 22.

References

1. Strelbitskaya E. B. Change in the ecological state of small rivers under the influence of waste water from drained agricultural landscapes and ways to improve it / E. B. Strelbitskaya, N. V. Kolomiytsev // *Melioration and water management*. 2006. No.5. P. 38-43.
2. Kireicheva L. V. Assessment of the quantity and quality of drainage and surface waters entering the river network of the Volga River basin from the drainage systems of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation / L. V. Kireicheva, E. A. Lentyaeva / *Land reclamation – an integral part of the restoration and development of the agro-industrial complex of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation. Proceedings of the International Scientific and Practical conference on October 24-25, 2018-Moscow: VNIIGiM Publishing House, 2019. P. 205-212.*
3. Navarro, I; Chavez, A; Barrios, JA; Maya, C; Becerril, E; Lucario, S; Jimenez, B; "Wastewater reuse for irrigation—practices safe reuse and perspectives", *Irrigation and Drainage—Sustainable Strategies and Systems*, 35-54, 2015, In Tech, Rijeka.
4. Strelbitsky E. B. Basic principles of improving the nodes drain cleaning, consisting of drying and humidifying systems of non-Chernozem zone / E. B. Strelbitsky, A. P. Solomin // *environmental engineering*. 2019. No. 5. P. 39-46.
5. Shchedrin V. N. Cleaning of drainage and discharge waters from harmful impurities / V. N. Shchedrin, A. S. Kapustyan // *Land reclamation and water management*. 1998. No. 6. S. 33-34.
6. Tamjidi, Sajad; Moghadas, Bahareh Kamyab; Esmaeili, Hossein; Khoo, Farideh Shakerian; Gholami, Gholamhossein; Ghasemi, Mansoure; Improving the surface

properties of adsorbents by surfactants and their role in the removal of toxic metals from wastewater: A review study, *Process Safety and Environmental Protection*, 2021, Elsevier.

7. Kuptsova A. A. Improving the quality of drainage waters with natural sorbents: author's abstract of the cand. tech. nauk. M., 1998. 24 p.

8. Kropina E. A. Prospects of repeated use of drainage and discharge waters for irrigation / E. A. Kropina, S. M. Vasiliev // *Melioration and water management*. 2010. No. 2. P. 22-23.

9. Lambert, Nico; Van Aken, Pieter; Van den Broeck, Rob; Dewil, Raf; Adsorption of phosphate on iron-coated sand granules as a robust end-of-pipe purification strategy in the horticulture sector, *Chemosphere*, 267, 2021, Elsevier.

10. Kireicheva L. V. The main directions of reducing the anthropogenic load on water bodies by reducing the discharge of drainage waters from reclaimed territories. 2015. No. 5. P. 64-68.

11. Gubin V. K., Golovinov E. E., Solomina A. P., Strelbitskaya E. B., Kudryavtseva L. V. System of structures for cleaning drainage runoff. Russian patent No. 2728365. 2020. Byul. No. 22.

Информация об авторах

Головинов Евгений Эдуардович, кандидат технических наук, заведующий отделом мелиорации земель ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова», 125008, г. Москва, ул. Б. Академическая, 44; тел. 8(499)1536782; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7035-8046> e-mail: evgeny@golovinov.info

Стрельбицкая Елена Брониславовна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова», 125008, г. Москва, ул. Б. Академическая, 44; тел. 8(499)1530691; e-mail: strelbitskaya.elena@mail.ru

Соломина Антонина Павловна, старший научный сотрудник ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова», 125008, г. Москва, ул. Б. Академическая, 44; тел. 8(499)1530691.